

平成21年6月10日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2006～2008

課題番号：18500231

研究課題名(和文) 運動の学習を実現する小脳内情報処理に関する研究

研究課題名(英文) Study on the cerebellar information processing that achieves motor learning.

研究代表者

平田 豊 (HIRATA YUTAKA)

中部大学・工学部・教授

研究者番号：30329669

研究成果の概要：小脳を中核として実現される運動学習に関わる脳内情報処理機構を、電気生理学的手法を用いた動物実験により探り、得られた結果をもとに計算機上に数理モデルを構築し、その妥当性を確認した。また、このモデルによる実機モータ制御を試み、小脳モデルが実機モータの適応制御に有効であることを実証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,700,000	0	1,700,000
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	540,000	4,040,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・生体生命情報学

キーワード：動物行動実験、金魚、サル、神経活動、モデル、電気生理実験、前庭動眼反射、眼球運動

1. 研究開始当初の背景

生体運動制御の特徴は、その精緻性とロバスト性にあり、さらに生涯に亘りこれらを維持するための適応性にあると考えられる。ロボット等の機械運動制御系では、高い精緻性を有するものの、未だ実用上十分なロバスト性や適応性は実現されていない。すなわち、現在の実機制御技術では、機械系の経時・経年変化や故障に対し、制御信号を適応的に変化させ機能を最適に維持し続けることは困難である。

2. 研究の目的

本研究では、生体特有の適応運動制御機構を工学的に実現することを目指し、生体運動制御の脳内メカニズムを探り、得られた知見をロボット制御に応用することを目的とした。具体的には、未だ脳・神経科学分野において未知あるいは統一の見解の得られていない以下の項目を明らかにする：

- 1)小脳神経回路網の入出力信号変換能力
- 2)登上線維(Cf)が運ぶ情報の中身
- 3)小脳神経回路網を形成する各細胞の機能的役割

- 4)各シナプス可塑性の機能的役割
- 5)小脳型ロボットコントローラの有効性

3. 研究の方法

本研究では、小脳が関わる適応運動制御のうち、眼球運動、特に前庭動眼反射(VOR)を対象とし、実験と計算論を融合したアプローチで研究を進めた。

初年度は、主に研究目的 1)と 2)の達成を目指した。小脳が関わる生体適応運動制御系として、前庭動眼反射(VOR)を対象とした。実験動物には金魚およびサルを用いた。両実験動物はこれまで多くの VOR 研究に用いられており、解剖・電気生理学的特性ならびに眼球運動特性について高い類似性が示されている。春・秋学期中は申請者所属機関で金魚を用いた実験を行い、夏・春季休暇中に海外共同研究者のもとでサルを用いた実験を実施した。

次年度は、初年度に得られた実験データならびにこれまでの解剖・生理学的知見をもとに、主に計算論的アプローチにより研究を進め、研究目的 3)と 4)の達成を目指した。また、研究遂行中得られる予測の確認のため、必要に応じて適宜上述の実験を実施した。

最終年度は、前年度までに得られた知見を集約し、小脳型適応制御モデルを直流モータの適応制御に応用した(研究目的 5))。

4. 研究成果

まず、小脳神経回路網の入出力信号変換能力に関しては、最近の実験的知見における、生体適応制御の周波数選択性、方向選択性等の文脈依存性と小脳神経回路網の動的信号変換能力の関係を明らかにする結果を得た。また、登上線維が運ぶ情報の中身に関しては、登上線維が小脳に運ぶ情報とその表現様式を解析した。

これらの知見を基に人工小脳神経回路モデルを構築した。構築したモデルは、様々な動物実験データを良く再現することができ、小脳神経回路内の情報処理過程をうまく抽出しているものと考えられる。

さらに、このモデルをロボットコントローラへ応用するために、予備実験として、モデルを実時間動作可能なサイズ(神経細胞数)ならびに記述に変更し、実機(直流モータ)制御に適用した。その結果、小脳型モータコントローラは、周波数帯域制限ノイズ軌道への追跡課題や、制御途中に生じる負荷変化に対し、柔軟性の高い適応制御を行えることが示された。

これらの成果は国内外の学会や国際会議、論文誌上で発表し、高い評価を得ている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ①. 吉川明昌, 平田 豊:前庭動眼反射の方向選択的運動学習とゲイン増減メカニズムの差異, 電子情報通信学会論文誌, J92-D巻, 1号, pp.176-185, 2009 (査読有)
- ②. Inagaki, K., Hirata, Y., Blazquez, PM., Highstein, SM.: Computer Simulation of Vestibuloocular Reflex Motor Learning Using a Realistic Cerebellar Cortical Neuronal Network Model. Neural Information Processing, Vol. 4984, pp.902-912, 2008 (査読有)
- ③. 西山潤平, 谷田公二, 楠見昌司, 平田 豊:瞳孔ゆらぎを指標とした覚醒度状態評価. 生体医工学会論文誌, 第 46 巻 2号, pp.212-217, 2008 (査読有)
- ④. Sakai, H., Hirata, Y., Usui, S.: Relationship between residual aberration and light-adapted pupil size in human subjects. Optometry and Vision Science, Vol. 84, No.6, pp. 517-521, 2007 (査読有)
- ⑤. 坂下祐輔, 藤吉弘亘, 平田 豊, 高丸尚教, 深谷直樹:高速楕円検出に基づく眼球回旋運動のリアルタイム計測システム. 電気学会論文誌, 127-C巻, 4号, pp. 591-598, 2007 (査読有)
- ⑥. 坂下祐輔, 藤吉弘亘, 平田 豊:画像処理技術を用いた眼球運動計測装置システム, 画像ラボ, Vol.18, No.12, pp.12-16, 2007(査読無)
- ⑦. 稲垣圭一郎, 平田 豊:小脳神経回路網を陽に記述した前庭動眼反射モデル. 電子情報通信学会論文誌, J90-D巻, 5号, pp.1293-1304, 2007 (査読有)
- ⑧. Blazquez, PM., Hirata, Y., Highstein, SM.: Chronic Changes in inputs to dorsal Y neurons accompany VOR motor learning. Journal of Neurophysiology, Vol.95, No. 3, pp.1812-1825, 2006 (査読有)
- ⑨. 坂下祐輔, 藤吉弘亘, 平田 豊:画像処理による3次元眼球運動計測. 日本実験

力学会誌, Vol. 6, No. 3, pp. 236-243,
2006(査読無)

[学会発表] (計 43 件)

- ①. Hirata, Y., Tanaka, Y., Yagi, H.: Real time adaptive motor control by the cerebellar neuronal network model. 18th Annual Meeting of Neural Control of Movement, 2008, Apr. 29-May 4, (Naples, Florida) (査読無)
- ②. Nishiyama, J., Hashimoto, T., Sakashita, Y., Fujiyoshi, H., Hirata, Y.: Characterization of iris pattern stretches and application to the measurement of roll axis eye movements. Proc. 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 4949-4952, 2008, Aug. 20-24 (Vancouver Convention & Exhibition Center, Vancouver) (査読有)
- ③. Inagaki, K., Hirata, Y., Blazquez, PM., Highstein, SM.: Computer simulation of vestibuloocular reflex motor learning using a realistic cerebellar cortical neuronal network model. Proc. The 14th International Conference on Neural Information Processing, 2007, Nov. 13-16 (Kitakyushu Science and Research Park, Kitakyushu) (査読有)
- ④. Yoshikawa, A., Sakai, M., Hirata, Y.: Comparison of vestibuloocular reflex motor learning induced by active and passive head motion in goldfish. Program No. 190.2. *2007 Abstract Viewer/Itinerary Planner*: Society for Neuroscience, 2007 Nov. 3-7. Online. San Diego Convention Center, San Diego (査読無)
- ⑤. Nishiyama, J., Tanida, K., Kusumi, M., Hirata, Y.: The pupil as a possible premonitor of drowsiness. Proc. 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 1586-1589, 2007, Aug. 23-26 (Cite Internationale, Lyon) (査読有)
- ⑥. Hirata, Y., Blazquez, PM., Furuta, K., Inagaki, K., Highstein, SM.: Cerebellar flocculus Purkinje cell complex spikes during VOR in the dark before and after VOR motor learning in squirrel monkeys. Program No. 190.3. *2007 Abstract Viewer/Itinerary Planner*: Society for Neuroscience, 2007. Online. Nov. 3-7. Online. San Diego Convention Center, San Diego (査読無)
- ⑦. Inagaki, K., Hirata, Y.: A realistic model of VOR motor learning with spiking cerebellar cortical neuronal network. Proc. 2006 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, pp. 915-918, 2006, Dec. 12-14 (Yonago) (査読有)
- ⑧. Yoshikawa, A., Hirata, Y.: Mechanism of frequency selectivity in VOR motor learning: frequency channel or waveform learning? Proc. 28th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 6217-6220, 2006, Aug. 30-Sep. 3. (Marriott at Times Square, NY City) (査読有)
- ⑨. Inagaki, K., Hirata, Y., Blazquez, PM., Highstein, SM.: Model of VOR motor learning with spiking cerebellar cortical neuronal network. Proc. the Annual Computational Neuroscience Meeting 2006, p. 57, 2006, Jul. 16-20 (The University of Edinburgh, Edinburgh) (査読有)
- ⑩. Nishiyama, J., Hata, T., Nagaoka, S., Hirata, Y.: Interpretation of the heart rate variability during linear acceleration stimuli with the electrical circuit model of human cardiovascular system. Proc. The 27th annual international gravitational physiology meeting, 2006, Apr. 23-28 (Osaka) (査読有)

[産業財産権]

○出願状況 (計 4 件)

- ① 眼球運動計測方法および眼球運動計測装置
発明者: 藤吉弘亘、平田豊
権利者: 同上

出願日：平成 19 年 4 月 24 日
特願 2007-113995

- ② 眠気状態判定装置
発明者：谷田公二、平田豊
権利者：本田技研工業株式会社
出願日：平成 19 年 9 月 26 日
特願 2007-250249

- ③ 個人認証装置
発明者：谷田公二、平田豊
権利者：本田技研工業株式会社
出願日：平成 19 年 9 月 26 日
特願 2007-250250

- ④ 眠気予兆検出装置
発明者：平田豊
権利者：学校法人中部大学
出願日：平成 20 年 9 月 18 日
特願 2008-238931

[その他]

- ①. イベント情報 「脳・生体情報計測と応用の最前線」
中日新聞朝刊
2008.1.10 掲載
- ②. 多田しげおの気分は爽快 電話インタビュー
CBC ラジオ
2007.10.11 放送
- ③. ホットイブニング
中継・居眠り防止の最新技術
NHK 名古屋
2007.09.10 放送
- ④. 瞳孔の動きで眠気察知 愛知・中部大の平田教授ら技術確立
中日新聞夕刊
2007.08.24 掲載
- ⑤. 自覚前に眠気を察知 中部大教授 瞳孔の変化を計測
讀賣新聞朝刊
2007.08.23 掲載

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平田 豊 (HIRATA YUTAKA)
中部大学・工学部・教授
研究者番号：30329669

- (2) 研究分担者
なし
(3) 連携研究者
なし
(4) 研究協力者

Stephen M. Highstein:
Washington University School of Medicine,
Dept. Otolaryngology, Professor

Pablo M. Blazquez:
Washington University School of Medicine,
Dept. Otolaryngology, Research Assistant
Professor

Robert Baker:
New York University Medical School,
Dept. Physiology and Neuroscience
Professor